

DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-9-588-593>

УДК 614.8.086.54

Коллектив авторов, 2021

Зверева З.Ф., Торубаров Ф.С., Лукьянова С.Н., Денисова Е.А., Мирошник Е.В.

Прогностические критерии психофизиологической адаптации по данным визуального и компьютерного анализов ЭЭГ у работников ядерно опасных предприятий и производств

ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России, ул. Живописная, 46, Москва, Россия, 123098

Актуальность. Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования безопасности работы предприятий атомной отрасли и как следствие обеспечение хорошего уровня психофизиологического функционирования работников.

Цель исследования — выявление с помощью визуального и компьютерного анализа показателей ЭЭГ, характеризующих ФС ЦНС при разных уровнях ПФА.

Материалы и методы. Объект — 331 архивная ЭЭГ работников радиационно опасных производств. Уровень адаптации работников определяли с использованием психологических, психофизиологических, физиологических методик. ЭЭГ регистрировали общепринятым способом в покое и функциональных нагрузках. При обработке применяли визуальный анализ и компьютерную оценку спектральной мощности биопотенциалов ЭЭГ.

Результаты. С помощью визуального анализа выявлены диагностические особенности, отражающие разные уровни психофизиологической адаптации и функциональной активности структурно-функциональных образований ЦНС. Это позволило определить роль структурно-функциональных образований в формировании низкого уровня адаптации и сформулировать прогностические критерии адаптации. По результатам оценки спектральной мощности биопотенциалов ЭЭГ выявлены некоторые механизмы этих критериев.

Выводы. Выявление в ЭЭГ четырёх аномальных показателей — «IV-й тип ЭЭГ», «Неустойчивая динамика ЭЭГ», «Высокий индекс $\beta 1$ -активности», «Наличие всплесков билатерально-синхронных волн» свидетельствует о наличии нарушений центральной регуляции сердечно-сосудистой системы и дисфункциональных изменений в структурах лимбико-ретикулярного комплекса, и может рассматриваться как критерий низкого уровня ПФА.

Выявление в ЭЭГ лиц с высоким уровнем ПФА электроэнцефалографической нормы свидетельствует об отсутствии нарушений центральной регуляции сердечно-сосудистой системы и дисфункциональных изменений в структурах лимбико-ретикулярного комплекса, и может рассматриваться как признак высокой вероятности выполнения этими лицами профессиональной деятельности с низким риском возникновения аварийных ситуаций вследствие снижения адаптации.

Этика. Исследование проведено с соблюдением этических стандартов институционального и/или национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 года и её последующим изменениям или сопоставимым нормам этики.

Ключевые слова: психофизиологическая адаптация; центральная нервная система; ЭЭГ; функциональное состояние; структурно-функциональное образование ЦНС

Для цитирования: Зверева З.Ф., Торубаров Ф.С., Денисова Е.А., Мирошник Е.В. Прогностические критерии психофизиологической адаптации по данным сравнительной характеристики визуального анализа и показателей мощности биопотенциалов ЭЭГ у работников ядерно опасных предприятий и производств. *Мед. труда и пром. экол.* 2021; 61(9): 588–593. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-9-588-593>

Для корреспонденции: Зоя Фёдоровна Зверева, ст. науч. сотр., д-р мед. наук. E-mail: zvereva01@yandex.ru

Участие авторов:

Зверева З.Ф., Торубаров Ф.С., Лукьянова С.Н.

— концепция и дизайн исследования;

Зверева З.Ф.

— сбор и обработка данных, написание текста;

Торубаров Ф.С., Лукьянова С.Н., Денисова Е.А., Мирошник Е.В.

— редактирование.

Финансирование. Работа выполнялась в рамках бюджетной темы. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 30.07.2021 / Дата принятия к печати: 08.10.2021 / Дата публикации: 20.10.2021

Zoya F. Zvereva, Felix S. Torubarov, Svetlana N. Lukyanova, Elena A. Denisova, Elena V. Miroshnik

Prognostic criteria of psychophysiological adaptation according to visual and computer EEG analyses of employees of nuclear hazardous enterprises and industries

A.I. Burnasyan Medical Biophysical Center, 46, Zhivopisnaya str., Moscow, Russia, 123182

Introduction. The study's relevance is due to the need to improve the safety of nuclear industry enterprises and, as a consequence, to ensure a good level of psychophysiological functioning of employees.

The study aims to identify the analysis of EEG indicators characterizing the FS of the central nervous system at different levels of PFA using visual and computer analysis.

Materials and methods. Object — 331 archival EEGs of workers of hazardous radiation industries. The researchers determined the level of adaptation of employees using psychological, psychophysical, and physiological techniques. We conventionally recorded the EEG at rest and functional loads. In addition, scientists used a visual analysis and computer evaluation of the spectral power of EEG biopotentials in the processing.

Results. With the help of visual analysis, we identified diagnostic features reflecting different levels of psychophysiological adaptation and functional activity of structural and functional formations of the central nervous system. It is possible to determine the role of structural and functional formations in forming a low level of adaptation and formulate prognostic criteria for adaptation. Researchers have identified some mechanisms of these criteria based on the evaluation results of the spectral power of EEG biopotentials.

Conclusions. We identified four abnormal indicators in the EEG: "Type IV EEG", "Unstable EEG dynamics", "High index of $\beta 1$ activity", "Presence of flashes of bilateral synchronous waves". These indicators indicate the presence of violations of the central

regulation of the cardiovascular system and dysfunctional changes in the structures of the limbic-reticular complex. Therefore, we consider it as a criterion of a low level of PFA.

The identification in the EEG of persons with a high level of PFA electroencephalographic norm indicates the absence of violations of the central regulation of the cardiovascular system and dysfunctional changes in the structures of the limbic-reticular complex.

Researchers consider this a sign of a high probability of these individuals performing professional activities with a low risk of emergencies due to reduced adaptation.

Ethics. Scientists conducted the study in compliance with the ethical standards of the institutional and/or National Committee for Research Ethics and the Helsinki Declaration of 1964 and its subsequent amendments or comparable standards of ethics.

Keywords: psychophysiological adaptation; central nervous system; EEG; functional state; structural and functional formation of the central nervous system

For citation: Zvereva Z.F., Torubarov F.S., Lukyanova S.N., Denisova E.A., Miroshnik E.V. Prognostic criteria of psychophysiological adaptation according to the comparative characteristics of visual analysis and indicators of the power of biopotentials of EEG in workers of nuclear hazardous enterprises and industries. *Med. truda i prom. ekol.* 2021; 61(9): 588–593. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-9-588-593>

For correspondence: Zoya F. Zvereva, senior researcher, Dr. of Sci. (Med.). E-mail: zvereva01@yandex.ru

Contribution:

Zvereva Z.F., Torubarov F.S., Lukyanova S.N.

— research concept and design;

Zvereva Z.F.

— data collection and processing, writing the text;

Torubarov F.S., Lukyanova S.N., Denisova E. A., Miroshnik E.V. — editing.

Funding. The study had no funding.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Received: 30.07.2021 / Accepted: 08.10.2021 / Published: 20.10.2021

Актуальность. Данные литературы свидетельствуют о важной роли оценки психофизиологической адаптации (ПФА) работников к условиям труда для сохранения работоспособности и профессионального здоровья [1]. При низком уровне адаптации работников возрастает риск возникновения аварийных ситуаций по вине персонала [2].

Определение уровня ПФА у работников ядерно опасных предприятий и производств проводится в обязательном порядке при психофизиологическом обследовании (ПФО) в рамках ежегодных медицинских осмотров. ПФО включает оценку функционального состояния (ФС) ЦНС по показателям психологических, психофизиологических и физиологических методик, на основании которых выделяются структурно-функциональные образования (СФО) ЦНС [2, 3]. Психологических — СФО, характеризующее психологическое состояние обследованных; психофизиологических — СФО, отражающее комплексную оценку качества психофизиологических реакций; физиологических — СФО, характеризующее центральную регуляцию сердечно-сосудистой системы [2, 3]. Различают три степени функциональной активности (ФА) СФО (высокую, среднюю, низкую). Уровень ПФА определяется по совокупности оценок всех СФО как интегральная величина.

Методики ПФО оценивают ФС ЦНС косвенно, способом его прямой

оценки является регистрация ЭЭГ [4]. Основным методом оценки ФС ЦНС по показателям ЭЭГ — визуальный анализ [4]. В настоящее время, как правило, используются комбинированные способы оценки ЭЭГ, сочетающие визуальный анализ с современными компьютерными методами математической обработки [4, 5], что в совокупности значительно повышает информативность исследования. Изучение процессов снижения ПФА важно для более раннего выявления функциональных нарушений с целью проведения реабилитационно-оздоровительных мероприятий.

Цель исследования — выявление с помощью визуального и компьютерного анализа показателей ЭЭГ, характеризующих ФС ЦНС при разных уровнях ПФА.

Материалы и методы. Объект — 331 архивные ЭЭГ: 1) 208 ЭЭГ лиц с низким уровнем ПФА ($50,8 \pm 4,6$ года; 194 муж.), основная группа; 2) 123 ЭЭГ лиц с высоким уровнем ПФА ($48,8 \pm 1,5$ года; 99 муж.), группа сопостав-

ления. Уровень ПФА определялся по результатам ПФО, использовался АПК ПФС-КОНТРОЛЬ [6], включавший методики: 1) психологические — многостороннего исследования личности, 16-факторный личностный опросник Кеттелла, определение уровня IQ по Равенну, уровень субъективного контроля; 2) психофизиологические — простая, сложная зрительно-моторные реакции, реакция на движущийся объект; 3) физиологическую — вариабельность сердечного ритма (ВСР). На основании методик выделяли СФО ЦНС, характеризовавшие: 1) психологические — личностные особенности (совокупность индивидуальных и социальных приобретённых качеств, определяющих поведение [7]) — СФО-1; 2) психофизиологические — возбудимость, реактивность, подвижность, устойчивость ЦНС [8] — СФО-2; 3) физиологическая — центральную регуляцию сердечно-сосудистой системы (ССС) [9] — СФО-3.

ЭЭГ регистрировали на электроэнцефалографе ЭЭГ-ГА-21/26 «Энцефалан-131-03» («МЕДИКОМ МТД», Таганрог) монополярно по системе «10–20%». Электроды помещали: $Fp1$, $Fp2$, $F3$, $F4$, $C3$, $C4$, $P3$, $P4$, $O1$, $O2$, $F7$, $F8$, $T3$ – $T6$; индифферентные на мочках ушей. Оцифровка сигналов 1024, полоса пропускания 0,5–70 Гц; скорость развёртки 30 мм/сек. Регистрировали: $\delta 2,0$ – $4,0$ Гц; $\theta 4,0$ – $8,0$ Гц; $\alpha 8,0$ – $13,0$ Гц; $\beta 1 13,0$ – $24,0$ Гц; $\beta 2 24,0$ – $35,0$ Гц в состоянии пассивного бодрствования и при стандартных нагрузках.

Оценивали визуальные показатели, рассматриваемые как аномальные [4, 10] (далее — аномальные показатели ЭЭГ), свидетельствовавшие: 1) «IV-й тип ЭЭГ» [по классификации Е.А. Жирмунской, 10] о дисфункции корковых структур, снижении коркового контроля над подкорковыми образованиями; 2) «Неустойчивая динамика ЭЭГ» о неустойчивости нервных процессов в коре головного мозга (ГМ) [11]; 3) «Высокий индекс $\beta 1$ -активности» о дисфункции стволовых структур диэнцефального уровня, преимущественно неспецифических ядер таламуса [4, 10]; 4) «Наличие всплеск билатерально-синхронных волн (БСВ)» также о функциональных отклонениях в стволовых структурах [4, 10]).

Изучение ФС ЦНС по данным компьютерного анализа спектральной мощности БП ЭЭГ проводилось в два этапа. Вначале при низком и высоком уровнях ПФА,

низкой и высокой ФА СФО анализировалось распределение показателей по коре ГМ, а затем в каждой из зон показатели мощности сравнивались между собой при разных состояниях. Такая оценка даёт представление о процессах, происходящих в ГМ при снижении адаптации.

Оценка включала: а) регистрацию по программам ЭЭГ-ГА-21/26 «Энцефалан-131-03» 10-ти фрагментов (длительностью 4 с) фоновой записи ЭЭГ без артефактов; б) сравнение показателей: а) между зонами коры каждого из полушарий; б) в каждой из корковых зон при разных уровнях ПФА, разной ФА СФО. Статистическая обработка — по программе STATISTICA 6, критерии t , χ^2 , знаков, $p < 0,05$.

Результаты. По данным визуального анализа в ЭЭГ обследованных лиц независимо от уровня ПФА отмечались аномальные показатели (**таблица**). При низком уровне их процент был существенно выше ($p < 0,05$).

Показатели свидетельствовали о дисфункции корковых структур («IV-й тип ЭЭГ», «Неустойчивая динамика ЭЭГ»), и, в большей степени, подкорковых образований («IV-й тип ЭЭГ», «Высокий индекс низкочастотной $\beta 1$ -активности», «Наличие всплеск БСВ») [4, 10].

При низкой ФА СФО-1 (**таблица**) существенно превалировал один аномальный признак — «Неустойчивая динамика ЭЭГ» ($p < 0,05$), свидетельствовавший о дисфункции корковых структур [11].

При низкой ФА СФО-2 (**таблица**) преобладали 3 аномальных признака — «IV-й тип ЭЭГ» ($p < 0,05$), «Неустойчивая динамика ЭЭГ», «Высокий индекс низкочастотной $\beta 1$ -активности» ($p < 0,05$), свидетельствовавшие о дисфункции корковых структур («IV-й тип ЭЭГ», «Неустойчивая динамика ЭЭГ») и стволовых образований диэнцефального уровня, преимущественно неспецифических ядер таламуса («Высокий индекс $\beta 1$ -активности») [4, 10].

У лиц с низкой ФА СФО-3 (**таблица**) преобладали все 4 аномальных признака ЭЭГ — «IV-й тип ЭЭГ», «Неустойчивая динамика ЭЭГ», «Высокий индекс низкочастотной $\beta 1$ -активности», «Наличие всплеск БСВ» ($p < 0,05$), свидетельствовавшие о дисфункции корковых и подкорковых структур.

Таким образом, при низкой ФА СФО-3 выявлялось максимальное число аномальных показателей ЭЭГ (4 из 4-х) — как при низком уровне ПФА. При низкой ФА СФО-1 выявлялось минимальное число аномальных показателей ЭЭГ (1 из 4-х). СФО-2 по числу аномальных показателей заняло промежуточное положение (3 из 4-х).

Следует отметить, что если при низкой ФА СФО ЦНС аномальные показатели выявлялись во всех трёх образованиях, то при высокой ФА — только в СФО-1 и СФО-2. В ЭЭГ лиц с высокой ФА СФО-3 аномальные показатели не определялись (**таблица**).

Результаты компьютерного анализа спектральной мощности БП ЭЭГ показали, что при разных уровнях ПФА и ФА СФО значения показателей и их распределение по коре ГМ не выходили за пределы нормы.

Распределение α и $\beta 1$ свидетельствовало о большей активности корковых структур в передних отделах коры по сравнению с задними — мощность α и $\beta 1$ в лобных зонах были меньше, чем в затылочных, теменных ($p < 0,05$), это соответствовало норме [4, 10]. Мощность δ и θ в лобных зонах были больше, чем в затылочных и теменных ($p < 0,05$), что также соответствовало норме [4, 10]. Соответствовало норме и равномерное распределение по коре показателей $\beta 2$ [4, 10]. Как особенность следует отметить большую степень ФА (относительно остальных областей коры) височных зон, тесно связанных со структурами лимбико-ретикулярного комплекса (ЛРК), участвующими в формировании эмоциональных реакций и регуляции вегетативных функций [12]. Это отмечалось при низком и высоком уровнях ПФА, низкой и высокой ФА СФО и проявлялось меньшими значениями δ , θ , α , $\beta 1$ в височных зонах по сравнению с остальными ($p < 0,05$).

Сравнение показателей мощности в каждой из корковых зон при разных уровнях ПФА и ФА СФО выявило различные изменения, но преимущественно их уменьшение. В задних отделах коры уменьшение наблюдалось в обеих гемисферах: α при низком уровне ПФА, низкой ФА СФО-1, СФО-3 ($p < 0,05$); $\beta 1$ при низкой ФА СФО-1, СФО-3 ($p < 0,05, t$); θ при низкой ФА СФО-3 ($p < 0,05$); δ при низкой ФА СФО-1 ($p < 0,05$). Оно свидетельствовало об усилении активности корковых структур, осуществлявшемся

Таблица / Table

Процент аномальных показателей ЭЭГ при низком и высоком уровнях ПФА

Percentage of abnormal EEG readings at low and high PFA levels, at low and high FA SFO-1, SFO-2, SFO-3

Уровень ПФА / Функциональная активность СФО ЦНС		Кол-во ЭЭГ	Процент аномальных показателей			
			IV тип ЭЭГ	Неустойчивая динамика ЭЭГ	Высокий индекс $\beta 1$ -активности	Наличие всплеск БСВ
Уровень ПФА	Низкий	208	58,2**	69,2**	66,3**	64**
	Высокий	123	27,6	39,8*	38,2	51,2*
Функциональная активность СФО-1	Низкая	13	53,8*	84,6**	61,5*	53,8*
	Высокая	119	42,0*	51,2*	57,1*	53,8*
Функциональная активность СФО-2	Низкая	53	60,4**	67,9**	71,7**	64,2*
	Высокая	71	29,6	47,9*	36,6	50,7*
Функциональная активность СФО-3	Низкая	110	58,2**	70**	63,6**	68,52**
	Высокая	87	23	33,3	34,5	42,5

Примечание: * — статистически значимое преобладание в группе по критерию знаков G при $p < 0,05$; * — статистически значимые различия между группами по χ^2 при $p < 0,05$.

Note: * — statistically significant predominance in the group according to the criterion of G signs at $p < 0,05$; * — statistically significant differences between groups of χ^2 at $p < 0,05$.

при участии осцилляторных систем мозга, отражающих информационные процессы [13]; дисфункциональные проявления в неспецифических таламических образованиях [12, 13]; эмоциональное напряжение [14]; процессы торможения [4]. В $\beta 2$ отмечалось увеличение показателей мощности в левой гемисфере при низком уровне ПФА, низкой ФА СФО-1, СФО-2 ($p < 0,05$), свидетельствовавшее об усилении активности корковых структур при участии активирующих влияний из РФ ствола [15].

В СФО-2 при низкой ФА отмечалось увеличение показателей мощности δ , θ , $\beta 1$ в обеих гемисферах, свидетельствовавшее об ослаблении активности корковых структур при участии осцилляторных систем, отражающих торможение, эмоциональное напряжение, дисфункциональные проявления в неспецифических таламических образованиях. В левой гемисфере увеличивалась мощность $\beta 2$, свидетельствуя об усилении активности корковых структур активирующими влияниями из РФ ствола.

В передних отделах коры уменьшение показателей мощности в обеих гемисферах наблюдалось: α , δ — в лобных зонах при низком уровне ПФА ($p < 0,05$), в лобных и височных зонах при низкой ФА СФО-1 и СФО-3 ($p < 0,05$); $\beta 1$ — в височных зонах при низком уровне ПФА, низкой ФА СФО-1, СФО-3 (t , $p < 0,05$). Оно свидетельствовало об усилении активности лобных зон при участии осцилляторных систем, отражающих информационные процессы [13] и торможения [4], и височных зон при участии систем, отражающих дисфункциональные проявления в неспецифических таламических образованиях [12, 13]. В $\beta 2$ отмечалось увеличение показателей в лобных и височных зонах левой гемисферы при низком уровне ПФА, низкой ФА СФО-1, СФО-2, свидетельствуя об усилении активности зон активирующими влияниями из РФ ствола [15]. В СФО-2 при снижении ФА в лобных зонах обеих гемисфер отмечалось увеличение показателей мощности θ , которое свидетельствовало об ослаблении активности корковых структур при участии осцилляторных систем, отражающих эмоциональное напряжение [14]. Таким образом, при низком уровне ПФА, низкой ФА СФО-1, СФО-3 в задних и передних отделах коры обеих гемисфер отмечалось усиление активности корковых структур при участии осцилляторных систем, отражающих информационные процессы, торможения, дисфункциональные проявления в неспецифических таламических образованиях; в левой гемисфере — при участии восходящих активирующих влияний из РФ ствола. В СФО-2 при низкой ФА активность корковых структур обеих гемисфер ослаблялась при участии: в задних отделах коры — осцилляторных систем, отражающих процессы торможения, эмоциональное напряжение, дисфункциональные проявления в неспецифических таламических образованиях, в передних отделах — при участии систем, отражающих эмоциональное напряжение.

Обсуждение. Анализ ФС ЦНС с помощью визуального анализа показал, что низкий уровень адаптации характеризовался максимальным числом аномальных показателей ЭЭГ, свидетельствовавших о больших отклонениях в подкорковых структурах, чем в коре. О нарушениях в коре свидетельствовали «IV-й тип», «Неустойчивая динамика ЭЭГ» [10, 11], о дисфункции стволовых структур дизэнцефального уровня, включая неспецифические ядра таламуса — «IV-й тип ЭЭГ», «Высокий индекс низкочастотной $\beta 1$ -активности», «Наличие всплесков БСВ» [4, 10, 12, 13]. При низкой ФА СФО-3 выявлялись такие же аномальные

показатели как при низком уровне ПФА. Сходство между низким уровнем ПФА и низкой ФА СФО-3, отражающего центральную регуляцию ССС [9], позволило предположить, что именно нарушение центральной регуляции ССС вносит наибольший вклад в формирование низкого уровня ПФА. Выявление в ЭЭГ всех 4-х аномальных показателей (из 4-х) можно, поэтому, рассматривать как критерий низкого уровня ПФА.

Необходимо отметить отсутствие в ЭЭГ у лиц с высоким уровнем ПФА аномальных показателей при высокой ФА СФО-3. И их выявление (в статистически значимых количествах) у лиц с высоким уровнем ПФА при высокой ФА СФО-1, СФО-2. Отсутствие в ЭЭГ аномальных показателей (соответствие норме) рассматривается как свидетельство высокого, стабильного ФС ЦНС [4, 10]. Поэтому отсутствие в ЭЭГ лиц с высоким уровнем ПФА аномальных показателей позволяет предположить высокую вероятность выполнения ими профессиональной деятельности с высокой степенью надёжности (с низким риском возникновения аварийных ситуаций по вине персонала). Можно заключить, что отсутствие аномальных показателей в ЭЭГ лиц с высоким уровнем ПФА можно рассматривать как критерий высокой надёжности выполнения ими профессиональной деятельности.

Изучение ФС ЦНС по данным компьютерного анализа спектральной мощности БП ЭЭГ показало следующее. Анализ распределения показателей спектральной мощности БП ЭЭГ по коре ГМ выявил сходство между низким и высоким уровнями ПФА. Вероятно, это можно рассматривать как признак устойчивости ФС ЦНС, которая даёт возможность лицам с низким уровнем ПФА осуществлять профессиональную деятельность с достаточной степенью надёжности (выявление при ПФО у обследуемых лиц низкого уровня ПФА не является показанием к отстранению от профессиональной деятельности [2, 3]). Анализ распределения показателей по коре показал также, что большая активность височных зон (относительно остальных), наблюдавшаяся при высоком уровне ПФА, высокой ФА СФО, ещё больше возрастала при низком уровне ПФА, низкой ФА СФО. Осуществлялось это при участии осцилляторных систем, отражающих дисфункциональные проявления в неспецифических таламических образованиях [12, 13], в левой гемисфере — активирующими влияниями из РФ ствола [15]. Усиление активности корковых зон, имеющих связи со структурами ЛРК, может быть связано с возникающими в его образованиях дисфункциональными изменениями, которые в ЭЭГ проявляются аномальными показателями [4, 10]. Максимальное число аномальных показателей в ЭЭГ (4 из 4-х) при низком уровне ПФА, низкой ФА СФО-3 может быть, таким образом, следствием дисфункциональных изменений в образованиях ЛРК, возникающими при снижении адаптации.

Сравнение показателей мощности в каждой из корковых зон при разных состояниях выявило сходные процессы усиления активности корковых структур во всех отделах коры обеих гемисфер при низком уровне ПФА, низкой ФА СФО-1, СФО-3 (относительно высокого уровня ПФА, высокой ФА СФО). При сходстве этих изменений оценка ФС ЦНС с помощью визуального анализа выявила существенные различия. Максимальное число аномальных показателей (4 из 4-х) — при низком уровне ПФА, низкой ФА СФО-3, и минимальное (1 из 4-х) — при низкой ФА СФО-1. Если объяснением максимального числа аномальных показателей при низком уровне

ПФА, низкой ФА СФО-3 может быть возникающая при снижении адаптации дисфункция образований ЛРК, то минимальное число аномальных показателей ЭЭГ при низкой ФА СФО-1 может объясняться высокими адаптивными возможностями психологического статуса человека [7]. Таким образом, выявление в ЭЭГ лиц с низким уровнем ПФА 1-го аномального показателя, либо их отсутствие может рассматриваться как критерий преимущественного нарушения психологического статуса обследуемых.

СФО-2 существенно отличалось от остальных вариантов СФО. При низкой ФА здесь отмечалось не усиление, а ослабление активности корковых структур при участии осцилляторных систем, отражающих эмоциональное напряжение. Эффективность выполнения зрительно-моторных тестов, по которым оценивается ФА СФО-2, в значительной мере зависит от эмоционального состояния человека [16]. Ослабление активности корковых структур при участии осцилляторных систем, отражающих эмоциональное напряжение, возможно, свидетельствует о его снижении. Это может способствовать успешному выполнению зрительно-моторных тестов, включая лиц с дисфункциональными изменениями в структурах ЛРК, обуславливающими аномальные показатели в ЭЭГ [4, 10]. Т. е. коли-

чество аномальных показателей в ЭЭГ не характеризует ФА СФО-2.

Сравнительная характеристика визуального и компьютерного анализов ЭЭГ при разных уровнях ПФА и ФА СФО позволила предложить прогностические критерии ПФА.

Выводы:

1. Выявление в ЭЭГ четырёх аномальных показателей — «IV-й тип ЭЭГ», «Неустойчивая динамика ЭЭГ», «Высокий индекс β 1-активности», «Наличие всплеск билатерально-синхронных волн» свидетельствует о наличии нарушений центральной регуляции сердечно-сосудистой системы и дисфункциональных изменений в структурах лимбико-ретикулярного комплекса, и может рассматриваться как критерий низкого уровня ПФА.

2. Выявление в ЭЭГ лиц с высоким уровнем ПФА электроэнцефалографической нормы свидетельствует об отсутствии нарушений центральной регуляции сердечно-сосудистой системы и дисфункциональных изменений в структурах лимбико-ретикулярного комплекса, и может рассматриваться как признак высокой вероятности выполнения этими лицами профессиональной деятельности с низким риском возникновения аварийных ситуаций вследствие снижения адаптации.

Список литературы

1. Ядрищенская Т.В., Мальгрем Е.В. Взаимосвязь физиологических и психофизиологических показателей функционального состояния работников локомотивных бригад с синдромом напряжённой адаптации. *Личность в экстремальных условиях и кризисных ситуациях жизнедеятельности*. 2011; 251–5.
2. Самойлов А.С., Бушманов А.Ю., Бобров А.Ф., Щербанов В.Ю., Седин В.И., Калинина М.Ю. Психофизиологические аспекты обеспечения надёжности профессиональной деятельности работников организаций атомной отрасли — 2018: *Материалы III отраслевой научно-практической конференции. АНО ДПО «Техническая академия Росатома»* М.; 2018: 62–76.
3. Торубаров Ф.С., Зверева З.Ф., Денисова Е.А., Лукьянова С.Н. Роль психофизиологического обследования в оценке функционального состояния центральной нервной системы у работников радиационно и ядерноопасных предприятий. *Медицина экстремальных ситуаций*. 2017; 2: 157–63.
4. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография с элементами эпилептологии. М.: «МЕДпресс-информ», 2016.
5. Шульц Е.В., Васильева А.В., Караваева Т.А., Полторак С.В. Клинико-электроэнцефалографическое исследование тяжёлых форм невротических и эндогенных тревожно-депрессивных расстройств. *Вестник психотерапии*. 2014; 5: 115–29.
6. Бобров А.Ф., Бушманов А.Ю., Седин В.И., Щербанов В.Ю. Системная оценка результатов психофизиологических обследований. *Медицина экстремальных ситуаций*. 2015; 3: 13–9.
7. Рубинштейн С.А. *Основы общей психологии*. СПб.: Питер; 2010.
8. Лоскутова Т.Д. Оценка функционального состояния центральной нервной системы человека по параметрам простой двигательной реакции. *Физиол. журн. СССР*. 1975; 1: 3–12.
9. Баевский Р.М. Концепция физиологической нормы и критерии здоровья. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2003; 4: 473–87.
10. Жирмунская Е.А., Лосев В.С. Системы описания и классификации электроэнцефалограмм человека. М.: Наука, 1984.
11. Лукьянова С.Н. Биоэлектрическая активность коры и некоторых подкорковых образований при экспериментальном неврозе. *ЖВНД*, 1976; 3: 539–47.
12. Колотильщикова Е.А. Обоснование психологических механизмов невротических расстройств. *Вестник психотерапии*. 2011; 4: 64–78.
13. Бабури И.Н., Караваева Т.А., Колотильщикова Е.А., Слезин В.Б., Шульц Е.В. Биоэлектрическая активность мозга у больных с различными клиническими типами невротических расстройств (по данным спектрального анализа). *Вестник психотерапии*. 2010; 3: 119–29.
14. Антропова Л.К., Куликов В.Ю. Семантическая вербальная беглость: особенности ЭЭГ-показателей при когнитивной нагрузке у студентов. *Вестник психофизиологии*. 2018; 3: 100–7.
15. Ковальзон В. Ретикулярная восходящая активирующая система. Третий пересмотр. *Наука и инновации*. 2017; 12: 9–15.
16. Енин К.А., Матвеева В.В., Никольский В.О. Психофизиологические подходы к оценке эффективности программы комплексной психологической коррекции на основе телесно-ориентированной психотерапии. *Вестник новых медицинских технологий*. 2015; 3: 143–7.

References

1. Yadrishchenskaya T.V., Malgrem E.V. Interrelation of physiological and psychophysiological indicators of the functional state of employees of locomotive crews with the syndrome of tense adaptation. *Lichnost' v ekstremal'nykh usloviyakh i krizisnykh situatsiyah zhiznedeystel'nosti*. 2011: 251–5.
2. Samoilov A.S., Bushmanov A.Yu., Bobrov A.F., Shcheblanov V.
3. Torubarov F.S., Zvereva Z.F., Denisova E.A., Lukyanova S.N.
4. Yu., Sedin V.I., Kalinina M.Yu. Psychophysiological aspects of ensuring the reliability of professional activities of employees of nuclear industry organizations — 2018: *Materialy III otraslevoj nauchno-prakticheskoy konferencii. ANO DPO «Tekhnicheskaya akademiya Rosatoma»* M.; 2018: 62–76.

- The role of psychophysiological examination in assessing the functional state of the central nervous system in workers of radiation and nuclear-hazardous enterprises. *Medicina ekstremal'nyh situacij*. 2017; 2: 157–63.
4. Zenkov L.R. *Clinical electroencephalography with elements of epileptology*. M.: «MEDpress-inform»; 2016.
 5. Shultz E.V., Vasilyeva A.V., Karavaeva T.A., Poltorak S.V. Clinical and electroencephalographic study of prolonged forms of neurotic and endogenous anxiety-depressive disorders. *Vestnik psihoterapii*. 2014; 5: 115–29.
 6. Bobrov A.F., Bushmanov A.Yu., Sedin V.I., Shcheblanov V. Yu. System evaluation of the results of psychophysiological examinations. *Medicina ekstremal'nyh situacij*. 2015; 3: 13–9.
 7. Rubinstein S.L. *Fundamentals of general psychology*. SPb.: Piter; 2010.
 8. Loskutova T.D. Evaluation of the functional state of the human central nervous system by the parameters of a simple motor reaction. *Fiziol. zhurn. SSSR*. 1975; 1: 3–12.
 9. Baevsky R.M. The concept of physiological norms and health criteria. *Rossiiskij fiziologicheskij zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2003; 4: 473–87.
 10. Zhirmunskaya E.A., Losev V.S. *Systems of description and classification of human electroencephalograms*. M.: Nauka, 1984.
 11. Lukyanova S.N. Bioelectric activity of the cortex and some subcortical formations in experimental neurosis. *ЖБНА*. 1976; 3: 539–47.
 12. Kolotilshchikova E.A. Substantiation of psychological mechanisms of neurotic disorders. *Vestnik psihoterapii*. 2011; 4: 64–78.
 13. Baburin I.N., Karavaeva T.A., Kolotilshchikova E.A., Slezin V.B., Shultz E.V. Bioelectric activity of the brain in patients with various clinical types of neurotic disorders (according to spectral analysis). *Vestnik psihoterapii*. 2010; 3: 119–29.
 14. Antropova L.K., Kulikov V.Yu. Semantic verbal fluency: features of EEG indicators in the cognitive load of students. *Vestnik psihofiziologii*. 2018; 3: 100–7.
 15. Kovalzon V. Reticular ascending activating system. Third revision. *Nauka i innovacii*. 2017; 12: 9–15.
 16. Enin K.A., Matveeva V.V., Nikolsky V.O. Psychophysiological approaches to evaluating the effectiveness of the program of complex psychological correction based on body-oriented psychotherapy. *Vestnik novykh medicinskih tekhnologij*. 2015; 3: 143–7.